

ANÁLISIS FISCOQUÍMICO DE MATERIAS PRIMAS Y SUSTRATOS DE USO POTENCIAL EN ALMÁCIGOS DE HORTALIZAS¹

Gustavo Quesada Roldán², Carlos Méndez Soto²

RESUMEN

Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. Se realizó una caracterización fisicoquímica de materias primas, recolectadas en diferentes regiones del país, útiles en la conformación de un sustrato para la elaboración de almácigos hortícolas, en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), Alajuela, Costa Rica, en el periodo comprendido del 21 de febrero del 2003 al 16 de enero del 2004. Se determinaron las propiedades de porosidad total, capacidad de retención de agua, conductividad eléctrica y pH; de acuerdo a esta caracterización se seleccionaron las siguientes materias primas: abono orgánico Juan Viñas, lombricompost de broza, lombricompost de cabra, suelo fermentado, fibra de coco, bagazo de caña de azúcar, granza de arroz, aserrín de melina madurado, ceniza de bagazo, *peat moss* + perlita, sustrato comercial 2, piedra pómez, arena y suelo. A partir de los resultados de la caracterización, se realizó la mezcla de estas materias primas para su posible utilización como sustrato hortícola. Ninguna de las mezclas elaboradas mostró valores de conductividad eléctrica mayores a los permitidos. Producto de una solarización previa efectuada a las mezclas, se presentaron valores extremos de pH hacia niveles ácidos como básicos. Referente a las propiedades físicas se encontró un mejoramiento evidente de la porosidad total y la capacidad de retención de agua al mezclar las materias primas.

Palabras clave: hortalizas, almácigos, sustratos, análisis fisicoquímicos.

ABSTRACT

Physicochemical analysis of raw materials with potential for use as growth media in vegetable seedling production. Raw materials with potential for use as growth media for seedling production were collected from around the country and characterized during the period of February 21, 2003 to January 16, 2004. These materials included: Juan Viñas compost, goat earthworm castings, coffee rubbish earthworm castings, fermented soil, coconut coir, sugar cane bagasse, rice hulk, partially composted *gmelina arborea* sawdust, bagasse ashes, *peat moss* + perlite, commercial substrate 2, pumice, sand and soil, and were selected because of their optimal values for total porosity, water retention capacity, electrical conductivity and pH. Based on this characterization, mixed substrates of raw material were made in order to get a good horticultural substrate. Any of the mixed substrates showed electrical conductivity values greater than the critic level. However, a previous solarization of substrates produced extreme pH values (both acid and basic levels). The physical properties of mixed substrates were improved notoriously, especially regarding total porosity and water retention capacity.

Key words: vegetable crops, seedlings, substrates, physicochemical analysis.

¹ Recibido: 6 de enero, 2005. Aceptado: 1 de noviembre, 2005. Este trabajo es parte de la Tesis de Licenciatura del primer autor. Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica (UCR).

² Programa de Hortalizas, Estación Experimental Fabio Baudrit M., Universidad de Costa Rica. Apdo. postal: 183-4050 Alajuela, Costa Rica. Apdo. postal: 183-4050 Alajuela, Costa Rica. Correo electrónico: gustavoq@cariari.ucr.ac.cr; cmendez@cariari.ucr.ac.cr.

INTRODUCCIÓN

Con el auge experimentado de la producción hortícola en ambientes protegidos, ha crecido también el empleo de almácigos de hortalizas producidos en bandeja con el uso de sustratos. El cultivo en sustratos ha desempeñado un rol importante en la mejora del rendimiento y la calidad de las plantas al trasplante, con las consiguientes ventajas para el establecimiento de la plantación. Otra razón por la que se ha estimulado aún más el uso de sustratos, es la necesidad de reducir la desinfestación química, además de que en la Unión Europea existen legislaciones que promueven el uso de sustratos amigables con el ambiente (Kipp y Wever 2000), muchos de los cuales se obtienen a partir de subproductos agrícolas de desecho.

Un sustrato es el medio material donde se desarrolla el sistema radicular del cultivo (Alarcón, 2004). Dentro de sus funciones básicas está proveer agua y nutrimentos, permitir el intercambio gaseoso desde y hacia la raíz y brindar soporte a la planta. Por su parte, la materia prima es aquel material que puede ser combinado en proporciones volumétricas con otros componentes, para obtener balances adecuados de intercambio gaseoso, retención de agua y nutrimentos necesarios para el crecimiento de la planta (Fonteno 1996; Schnelle y Henderson 1991).

El volumen del medio disponible es limitado cuando se usan potes o bandejas, por lo que el sustrato seleccionado debe de ser de alta calidad. Las propiedades físicas de un medio son las más importantes, ya que una vez colocado el sustrato en recipientes no es sencillo variarlas; lo contrario sucede con las propiedades químicas, donde es más fácil hacer correcciones que favorezcan el establecimiento del almácigo. Cabrera (1995 a), indicó que idealmente, el sustrato debe presentar características físicas y químicas óptimas, que complementadas con un buen manejo técnico soporten un adecuado crecimiento de la plántula; aunque como lo menciona Bastida (2004), no existe un material que reúna todas las propiedades fisicoquímicas óptimas

para todos los usos y circunstancias de los cultivos y del contenedor que los mantienen.

El objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización física y química de diversas materias primas y sustratos de potencial interés en la elaboración de almácigos de hortalizas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de materias primas y sustratos se realizó en diferentes zonas del país. La caracterización física, se realizó en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) e incluyó mediciones de densidad de masa, porosidad total y capacidad de retención de agua. Los análisis químicos de conductividad eléctrica, pH y contenido nutricional se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Aguas del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA). Ambas unidades de investigación pertenecen a la Facultad de Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Costa Rica. La investigación se desarrolló en dos fases.

I Fase. Identificación y descripción de materias primas

En la primera fase se recolectaron y analizaron fisicoquímicamente 22 materias primas (Cuadro 1). De todos estos materiales cuatro correspondieron a sustratos comerciales, once a materias primas y siete a materias primas compuestas.

A. Evaluación de propiedades físicas

La evaluación de las propiedades físicas, porosidad total, capacidad de retención de agua y densidad de masa se realizó con la metodología sugerida por Cabrera (1995 b) y Fonteno (1996). Se llenó con el medio una celda de 24 ml de volumen tomada de una bandeja plástica de forma de pirámide invertida. Se tapó con cinta adhesiva el agujero de la

Cuadro 1. Identificación y descripción de materias primas para la elaboración de sustratos hortícolas. Alajuela, Costa Rica. 2004.

Material	Preparación	Materias primas
1. Abono orgánico 1	En el Ingenio Juan Viñas (Alvarado, Cartago), a partir de un proceso de compostaje	Bagazo de caña de azúcar, ceniza de bagazo y broza de café
2. Abono orgánico 2	En el Ingenio CoopeVictoria (Grecia, Alajuela), a partir de un proceso de compostaje	Bagazo de caña de azúcar, ceniza de bagazo y broza de café
3. Lombricompost 1	En el núcleo agrícola “La Chinchilla” del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), Oreamuno, Cartago	Lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en un sustrato de broza de café
4. Lombricompost 2	En la EEAFBM, en un periodo de preparación de un mes	Lombriz roja californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en un sustrato de excremento de cabra
5. Gallinaza	En la EEAFBM, a partir de un proceso de compostaje de tres semanas con volteos cada dos días	Excrementos generados en la granja avícola
6. Compost de helecho (<i>Rumohra adiantiformis</i>)	En el núcleo agrícola “La Chinchilla” del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), Oreamuno, Cartago	Desechos de la industria helechera de la zona de Cervantes de Alvarado, Cartago
7. Bocashi	En el núcleo agrícola “La Chinchilla” del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), Oreamuno, Cartago. El montículo de material se tapa por tres días con dos volteos diarios. Humedad inicial 35 - 45%. Temperatura < 50 °C	Suelo, granza, gallinaza, semolina, carbón y melaza
8. Suelo fermentado	En el núcleo agrícola “La Chinchilla” del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), Oreamuno, Cartago. Se tarda de 22 a 30 días con un volteo semanal. Humedad inicial 45 - 50%. Temperatura 60 - 65 °C	Suelo, granza, semolina, melaza y bocashi
9. Broza de café (<i>Coffea arabica</i>)	Proveniente del beneficio CoopeVictoria, Alajuela. No se realizó ningún tipo de procesamiento previo a la caracterización	Broza, subproducto de la actividad cafetalera
10. Bagazo de caña de azúcar 1 (<i>Saccharum officinale</i>)	Proveniente del Ingenio Juan Viñas, Cartago. No se realizó ningún tipo de procesamiento previo a la caracterización	Bagazo, subproducto de la elaboración del azúcar.
11. Bagazo de caña de azúcar 2 (<i>Saccharum officinale</i>)	Proveniente del Ingenio CoopeVictoria, Alajuela. No se realizó ningún tipo de procesamiento previo a la caracterización	Bagazo, subproducto de la elaboración del azúcar.
12. Ceniza de bagazo	En las chimeneas de las caldera del Ingenio CoopeVictoria, se deposita ceniza proveniente del bagazo de caña, que es llevada hasta una laguna de tratamiento	Se tomó la ceniza de bagazo en la laguna de tratamiento
13. Fibra de coco (<i>Cocus nucifera</i>)	Proveniente de Siquirres, Limón. El coco fue envejecido un año antes de ser molido	Coco. De su molienda se obtienen partículas finas y fibras medianas
14. Granza de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	Obtenido en la Arrocería Costa Rica, en el Barrio San José, Alajuela.	Granza, subproducto de la actividad arrocería
15. Aserrín de melina (<i>Gmelina arborea</i>)	Obtenido en la empresa Envaco; la melina proviene de Guácimo, Limón. Se utilizaron dos tipos: a- aserrín fresco; sin procesar b- aserrín madurado; sometido a un proceso de maduración de tres semanas en la EEAFBM	Aserrín, subproducto de madera de la fabricación de tarimas
16. Suelo	Tomado de la EEAFBM en un lote cultivado con especies frutales	Suelo
17. Sustrato comercial 1	Aportado por una empresa comercial productora de almácigos. Fue desinfectado con vapor previo a la caracterización	60% de granza y 40% de suelo reutilizado con una enmienda de calcio.

Continúa...

Continuación Cuadro 1.

Material	Preparación	Materias primas
18. Sustrato comercial 2	Aportado por una empresa comercial productora de almácigos. Fue desinfectado con vapor previo a la caracterización	32,5% de granza, 32,5% de suelo reutilizado, 25% de abono orgánico y 10% de arena
19. <i>Peat moss</i> + perlita + vermiculita	Material de pacas comerciales "Germinating Mix" de la casa Fafard, Canadá	55 % <i>peat moss</i> , 25 % perlita y 20 % vermiculita
20. <i>Peat moss</i> + perlita	Material de pacas comerciales "Nutripeat del grupo calidad Lameque, Canadá	66,6 % <i>peat moss</i> , 33 % perlita
21. Piedra pómez	Procedente de yacimientos naturales de la provincia de Guanacaste	Piedra pómez
22. Arena	Recolectado en los playones del río Virilla, a su paso por Turrúcares, Alajuela. No fue procesada ni lavada previo a los análisis	Arena de río

base de la celda. Posteriormente se registró el volumen exacto de sustrato añadido y de manera gradual se le añadió agua hasta saturar el medio. La muestra se dejó equilibrar por 15 minutos y se procedió a retirar la cinta de la base de la celda recogiendo y registrando el agua drenada.

La muestra humedecida fue pesada y luego secada hasta peso constante en una estufa a 72 °C por 18 horas; finalmente se determinó el peso seco de la muestra. Este procedimiento se repitió seis veces para cada uno de los materiales.

La porosidad total, o porcentaje del espacio total de poros con base en volumen v/v, se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Porosidad total} = \frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) + \text{volumen drenado}}{\text{volumen de sustrato}} \times 100$$

La capacidad de retención de agua, definida como porcentaje de humedad en base al volumen v/v después de la saturación y drenaje, fue determinada con la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de retención de agua} = \frac{(\text{peso mojado} - \text{peso seco})}{\text{volumen de sustrato}} \times 100$$

La densidad de masa (g/cc), definida como la medida del peso de una muestra secada al horno por unidad de volumen (Fonteno 1996), se obtuvo a partir de la ecuación:

$$\text{Densidad de masa} = \frac{\text{peso seco}}{\text{volumen de sustrato}}$$

B. Evaluación de propiedades químicas

La recolección de los extractos para la evaluación química de las materias primas se hizo en el laboratorio de la EEAFBM siguiendo el método de extracto saturado, o pasta saturada, desarrollado por la Universidad Estatal de Michigan (Warncke y Krauskopf 1983).

Una muestra de medio (400 ml) se satura con agua destilada hasta que se forme una pasta que se mantiene en equilibrio durante una hora. Posteriormente, se filtra el sustrato saturado en un embudo Büchner mediante la utilización de una bomba de vacío. Este extracto filtrado fue analizado con un espectrofotómetro de llama, para la lectura de los siguientes nutrientes: Ca, Mg, K, P, Fe, Zn, Cu, Mn y Na. El N-NH_4^+ , N-NO_3^- y el P se determinaron mediante un colorímetro. También se evaluó el pH y la conductividad eléctrica de los filtrados, además del RAS mediante la relación $\text{Na} / ((\text{Ca} + \text{Mg}) / 2)$.

II Fase. Preparación y caracterización de mezclas para sustratos

Con base en la caracterización fisicoquímica de la primera fase, se seleccionaron varias materias primas, descartándose aquellas que no presentaban propiedades adecuadas de pH y/o conductividad eléctrica. Los criterios de esta selección establecieron que entre dos materias primas iguales, se escogió aquella de mejor ajuste a un ámbito de pH de 5,2 a 6,3. Se descartó por completo aquellos materiales con una conductividad eléctrica mayor a 5 mS/cm. Además, se descartaron aquellos materiales que por su naturaleza física son poco viables de utilizarse en la elaboración de una mezcla para

almácigos. Se diseñaron finalmente 22 mezclas que variaban tanto en el componente añadido, como en la proporción en que fue adicionado. Las mezclas evaluadas se presentan en el Cuadro 2.

Debido a que es necesario asegurar la sanidad del sustrato a emplear en la elaboración de almácigos, previo a la caracterización y buscando una metodología de desinfestación amigable con el ambiente, todas estas mezclas fueron solarizadas por cinco días en bolsas plásticas de dos litros de capacidad; esto con el fin de valorar los efectos de la desinfestación en la alteración de las propiedades, especialmente las químicas.

Cuadro 2. Identificación de las mezclas y proporción de sustratos hortícolas evaluados. Alajuela, Costa Rica. 2004.

Materia Prima	Proporción (v/v)	Código
Fibra de coco + suelo	60:40	1
Fibra de coco + suelo	40:60	2
Fibra de coco + suelo + compost cabra	60:20:20	3
Fibra de coco + A.O. Juan Viñas ¹	50:50	4
Fibra de coco + A.O. Juan Viñas	40:60	5
Fibra de coco + aserrín melina madurado + ceniza	40:50:10	6
A.O. Juan Viñas + aserrín melina madurado	70:30	7
A.O. Juan Viñas + aserrín melina madurado	40:60	8
A.O. Juan Viñas + aserrín melina madurado + granza	40:40:20	9
A.O. Juan Viñas + lombricompost INA + granza	40:40:20	10
Bagazo + aserrín melina madurado + A.O. Juan Viñas	40:40:20	11
Bagazo + aserrín melina madurado + A.O. Juan Viñas	50:30:20	12
Bagazo + fibra de coco + piedra pómez	60:30:10	13
Bagazo + fibra de coco + piedra pómez	40:40:20	14
Bagazo + lombricompost INA	60:40	15
Ceniza + bagazo	50:50	16
Ceniza + bagazo	30:70	17
Ceniza + lombricompost INA + piedra pómez	40:40:20	18
Suelo + aserrín melina madurado + granza	40:40:20	19
Suelo + arena + granza	50:30:20	20
Suelo + granza	70:30	21
A.O. Juan Viñas + granza	70:30	22

¹ A.O. Juan Viñas = Abono orgánico Juan Viñas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica de materias primas

Propiedades físicas

Los resultados de la caracterización física se presentan en el Cuadro 3. El espacio aéreo, que forma parte de la porosidad total, en conjunto con la capacidad de retención de agua y la densidad de masa, son propiedades físicas que determinan el potencial de una materia prima para su utilización como sustrato (Rivière 1992, citado por Orozco y Marfà, 1995).

Si bien es cierto que las tres propiedades interactúan para dar un resultado físico (Cornell

Cooperative Extension 1997), no se encontró una relación proporcional directa o indirecta al analizar las variables independientemente, Cuadro 3; como lo indica Alarcón (2004), la porosidad total por sí misma no es un indicador de buena o mala textura, estructura, aireación o retención de agua del sustrato. La naturaleza propia de cada materia prima es la que determina entonces los valores expresados en el Cuadro 3, en donde se observa una mayor dispersión de datos para las variables de porosidad total y capacidad de retención de agua.

Los materiales con mayor porosidad fueron el abono orgánico CoopeVictoria, el lombricompost de broza, la gallinaza, la broza, la fibra de coco, el aserrín de melina fresco y madurado y el *peat moss* + perlita. Todos ellos están contenidos en un rango

Cuadro 3. Porosidad total, capacidad de retención de agua y densidad de masa de las materias primas con potencial para la elaboración de sustratos hortícolas. Alajuela, Costa Rica. 2004^{1/}.

Materia prima	Porosidad total (%)	Capacidad retención de agua (%)	Densidad de masa (g/ml)
Abono orgánico Juan Viñas	64,27	54,36	0,26
Abono orgánico CoopeVictoria	75,53	47,66	0,44
Lombricompost broza	78,30	61,56	0,16
Lombricompost cabra	68,99	58,44	0,37
Gallinaza	74,22	66,10	0,57
Compost helecho	44,65	36,50	0,22
Bocashi	42,40	35,81	0,38
Suelo fermentado	50,87	27,96	0,53
Broza	85,32	44,24	0,07
Bagazo Juan Viñas	55,68	40,79	0,06
Bagazo CoopeVictoria	57,40	34,33	0,05
Ceniza bagazo	63,02	53,93	0,15
Fibra de coco	84,42	61,00	0,05
Granza de arroz	64,75	25,85	0,10
Aserrín de melina fresco	74,80	54,40	0,08
Aserrín de melina madurado	78,70	57,24	0,08
Suelo	58,63	47,69	0,58
Sustrato comercial 1	66,05	50,72	0,56
Sustrato comercial 2	61,16	38,00	0,36
<i>Peat moss</i> + Vermiculita + Perlita	66,30	48,04	0,07
<i>Peat moss</i> + Perlita	81,82	53,80	0,09
Piedra Pómez	58,11	53,95	0,48
Arena	38,22	32,42	0,71

^{1/} promedio de seis repeticiones.

óptimo de porosidad total que Fonteno (1996) estableció entre 75 y 85%. Abad *et al.* (1999), citado por Guzmán (2003), consideraron como adecuados materiales con al menos un 50% de capacidad de retención de agua, por lo que el abono orgánico Juan Viñas, los dos tipos de lombricompost, la gallinaza, la ceniza del bagazo, la fibra de coco, el aserrín de melina fresco y madurado, el sustrato comercial 1, el *peat moss* + perlita y la piedra pómez superan este valor. Respecto a la densidad de masa, se considera como óptima si el valor es menor a 0,2 g/ml (Abad *et al.* 1999, citados por Guzmán 2003). Se presentaron valores adecuados en las siguientes materias primas: lombricompost de broza, broza, bagazo de caña Juan Viñas, bagazo de caña Coope Victoria, ceniza de bagazo, fibra de coco, granza de arroz, aserrín de melina fresco, aserrín de melina madurado, *peat moss* + vermiculita + perlita y *peat moss* + perlita.

La granulometría de un sustrato es la distribución de partículas según su tamaño; en general, la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de partícula. Esta distribución de tamaños de partícula determinará el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato (Alarcón 2004). Esta propiedad sólo se valoró para el suelo de la EEAFBM, el que presentó una textura franco-arcillosa; esto debido a que son requeridos equipos especiales para analizar la granulometría de sustratos diferentes del suelo.

Propiedades químicas

El análisis de las propiedades químicas de un medio es importante debido a su interacción con los fertilizantes y su efecto en el desarrollo de las plantas (Cuadro 4), siendo el pH y la conductividad

Cuadro 4. Concentración de nutrimentos (N-NH_4^+ , N-NO_3^- , Ca, Mg, K, P, Fe, Zn, Cu, Mn, Na), conductividad eléctrica, pH y RAS, de las materias primas para la elaboración de sustratos hortícolas. Alajuela, Costa Rica. 2004.

Materia prima	mg/l						mg/l					Cond. elect.	pH	RAS
	N-NH_4^+	N-NO_3^-	Ca	Mg	K	P	Fe	Zn	Cu	Mn	Na	mS/cm		
Abono orgánico Juan Viñas	0,19	343,67	31,10	1,33	16,65	1,25	trazas	0,01	0,02	0,03	0,92	3,24	6,14	0,06
Abono orgánico Coope Victoria	0,67	1465,10	62,30	1,44	29,75	1,80	trazas	0,03	0,07	0,12	1,20	6,81	5,55	0,04
Lombricompost broza	0,22	251,66	7,10	0,86	18,20	3,00	trazas	0,04	0,07	0,02	1,01	3,98	7,25	0,25
Lombricompost cabra	0,74	1534,78	21,10	1,43	38,25	6,30	trazas	0,01	0,36	0,03	1,17	17,20	6,57	0,10
Gallinaza	trazas	4,10	184,50	48,50	7105,00	8,55	58,65	13,75	4,42	1,70	635,00	26,45	7,48	5,45
Compost helecho	0,93	trazas	179,50	116,50	3720,00	7,30	1,17	0,29	0,27	1,40	98,00	15,68	6,90	0,66
Bocashi	trazas	0,70	79,00	63,50	1515,00	3,55	23,60	1,39	2,42	1,85	70,00	8,75	6,55	0,98
Suelo fermentado	trazas	trazas	84,00	89,00	975,00	2,25	0,39	0,04	0,37	1,15	37,50	2,60	6,35	0,43
Broza	2,44	trazas	111,00	50,00	2315,00	5,15	2,30	0,05	0,30	0,14	13,50	5,65	7,95	0,17
Bagazo Juan Viñas	0,17	0,04	0,60	0,15	4,15	1,30	0,89	0,02	0,04	0,09	1,06	0,18	7,00	2,85
Bagazo Coope Victoria	1,23	0,50	6,75	0,36	9,70	2,60	0,26	0,02	0,03	0,16	1,15	0,51	6,85	0,32
Ceniza bagazo	0,18	0,43	0,75	0,49	24,95	28,05	trazas	trazas	trazas	0,05	1,21	1,50	8,16	1,96
Fibra de coco	0,28	0,07	6,40	0,33	4,85	1,70	0,04	0,01	trazas	0,05	1,21	0,25	6,35	0,36
Granza de arroz	12,36	0,74	0,57	0,39	13,10	0,58	0,52	0,03	0,02	1,75	0,80	0,52	6,48	1,68
Aserrín melina fresco	trazas	0,04	5,00	0,67	15,85	5,67	trazas	0,11	0,03	0,01	1,12	0,77	7,30	0,40
Aserrín melina composteado	0,61	0,07	2,53	0,33	5,55	0,50	0,04	0,05	0,04	0,03	1,12	0,27	6,60	0,78
Sustrato comercial 1	60,38	293,62	18,50	7,35	22,10	2,40	trazas	0,01	0,08	0,36	1,28	4,00	6,43	0,10
Sustrato comercial 2	5,11	1,65	181,00	58,00	1400,00	0,75	0,29	0,03	0,13	0,11	383,50	1,49	6,58	3,21
Peat moss + Vermiculita + Perlita	0,97	8,56	15,40	1,24	9,60	0,96	trazas	0,29	0,01	0,08	1,15	1,20	4,51	0,14
Peat moss + Perlita	0,28	0,03	0,65	0,49	5,30	0,45	0,95	0,40	0,02	0,17	1,23	0,29	6,42	2,16
Piedra volcánica	0,63	4,60	60,00	14,00	260,00	0,09	6,10	0,01	0,07	0,05	4,90	0,21	6,18	0,13
Piedra pómez	1,65	5,02	48,00	10,50	650,00	trazas	0,24	trazas	trazas	0,03	6,60	0,19	5,91	0,23
Arena	0,46	43,86	116,50	39,50	1375,00	trazas	trazas	0,01	trazas	0,30	9,00	0,65	5,61	0,12

eléctrica determinantes en la selección de los sustratos. Estas propiedades son las que más afectan la rizosfera, donde se establecen las raíces de las plántulas. En almácigos de hortalizas, las plántulas son muy sensibles a alteraciones de pH y conductividad eléctrica, debido a su suculencia y lento desarrollo inicial; por esto, ambos factores deben ser constantemente revisados. Abad *et al.* (1999), citados por Guzmán (2003) indicaron un intervalo de pH óptimo entre 5,3 y 6,5 para la producción de plantas hortícolas en almácigo, mientras que Warncke y Krauskopf (1983), consideran como nocivos valores de conductividad eléctrica superiores a 3,5 mS/cm. En la elección de las materias primas no se considera prioritario el contenido nutricional por dos razones fundamentales: la primera es que es sencillo corregir cualquier deficiencia nutricional mediante ajustes en la fertilización. La segunda es la tendencia actual a utilizar sustratos nutricionalmente inertes, para de esta manera controlar todo el aporte nutritivo que recibe la planta (Guzmán 2003).

La mayoría de materias primas presentaron un valor de pH aceptable, salvo las excepciones del *peat moss* + vermiculita + perlita por su acidez y la gallinaza, broza, lombricompost de broza, ceniza de bagazo y aserrín de melina fresco por su carácter básico. Con relación a la conductividad eléctrica sólo presentaron valores altos el abono orgánico CoopVictoria, el lombricompost de cabra, la gallinaza, el compost de helecho, el bocashi y la broza. El RAS (relación de sodio con el Ca y Mg) supera el valor a 2 recomendado por Leskovar (2001) en el bagazo Juan Viñas, gallinaza, sustrato comercial 2 y *peat moss* + perlita. El contenido nutricional de las

materias primas fue variable y está relacionado con el origen de cada material (Cuadro 4). Los altos contenidos de materia orgánica influyen en los niveles de N-NO_3^- ; destacan en este particular los abonos orgánicos, las dos fuentes de lombricompost y el sustrato comercial 1. Materias primas como la gallinaza, bocashi, suelo fermentado, compost de helecho, broza y sustrato comercial 2 presentaron elevados contenidos de Ca, Mg y K. El P fue particularmente alto en la ceniza del bagazo y en menor medida también en la gallinaza, lombricompost de cabra, compost de helecho, broza y aserrín de melina fresco. En este último material se observó una reducción en los niveles nutricionales, principalmente de los elementos mayores, al madurar el aserrín; esto debido a que producto de este procesamiento se pierden parte de los nutrientes. El suelo se analizó químicamente según la metodología convencional puesto que en este caso el extracto de pasta saturada no se recomienda cuando la proporción de suelo es mayor al 25% (Molina 1999). Los resultados de este análisis se muestran en el Cuadro 5.

De acuerdo al análisis químico del suelo, tomando como referencia los niveles críticos que establece Bertsch (1998), se concluye que el suelo ofrece muy buenas propiedades químicas; no se presentan problemas de acidez, las relaciones catiónicas son adecuadas y los contenidos nutricionales óptimos, salvo una ligera deficiencia en el Mn.

La conductividad eléctrica, el pH, la capacidad de retención de agua y la porosidad total se constituyeron, en ese orden, en el criterio de selección de materias primas; al analizarlas y al comparar dos

Cuadro 5. Análisis químico del suelo utilizado en la elaboración de las mezclas de sustratos hortícolas. Alajuela, Costa Rica. 2004.

pH	cmol(+)/l					% Saturación de acidez	mg/l				
	Ca	Mg	K	Acidez intercambiable	CICE		P	Cu	Fe	Mn	Zn
6	14,8	2,8	1,21	0,11	18,92	0,58	65,6	12,5	54	4,9	6,3

Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
5,29	12,23	2,31	14,55

materias primas de origen similar, se descartó los materiales que presentaron valores inadecuados en estas variables. Un caso particular fue la broza de café, que fue eliminada pese a sus buenas propiedades físicas; la broza forma densos agregados, tanto en húmedo como en seco, que son difíciles de penetrar por las raíces en condiciones de almácigo, lo que demerita su calidad como sustrato.

De la caracterización fisicoquímica (Cuadros 3 y 4) realizada para las materias primas evaluadas, se seleccionaron los siguientes materiales: abono orgánico Juan Viñas, lombricompost de broza, lombricompost de cabra, suelo fermentado, fibra de coco, bagazo de caña de azúcar de CoopeVictoria, granza de arroz, aserrín de melina madurado, ceniza de bagazo, *peat moss* + perlita, sustrato comercial 2, piedra pómez, arena y suelo. Con estos materiales se plantearon mezclas para conformar un sustrato de buenas características para su empleo en la elaboración de almácigos.

Preparación y caracterización de mezclas para sustratos

Cuando alguna materia prima carece de suficiente aporte de carácter físico o químico es necesario hacer una mezcla de materiales (Nelson 1991). Debido a que las propiedades físicas y químicas de las materias primas varían en una mezcla al conformarse un nuevo sustrato (Fonteno 1996), es necesario realizar la respectiva caracterización fisicoquímica de las mezclas.

Las mezclas utilizadas se hicieron con base en los resultados de las variables físicas y químicas de las materias primas analizadas. Así mismo, se consideró importante evaluar el efecto de la proporción de las materias primas en el sustrato. Los resultados se presentan en los Cuadros 6 y 7.

Propiedades físicas

El objetivo de la elaboración de una mezcla es maximizar el aporte de sus componentes individuales.

Esto se hace evidente en el mejoramiento de las propiedades físicas de las mezclas en relación con las materias primas, Cuadros 3 y 6. Las mezclas evaluadas tuvieron una porosidad total superior al 65%, pese a que varias de las materias primas individuales no tenían más de 50% de porosidad. Las mezclas que contenían bagazo (57% de porosidad) alcanzaron valores entre 76 y 91% de porosidad al mezclarlos con otras materias primas. Este comportamiento se repitió para la mayoría de materiales; sólo en el caso de la fibra de coco se observó una ligera disminución en su porosidad cuando se mezcla con algún otro material, lo que podría deberse a que parte de su espacio poroso es ocupado por otras partículas componentes de la mezcla.

La capacidad de retención de agua también manifestó un aumento importante en sus valores en comparación con las materias primas, Cuadros 3 y 6, aunque el cambio no fue tan evidente como en la variable anterior. La capacidad de retención de agua osciló entre 41 y 71% según la mezcla. Sustratos que contienen fibra de coco y aserrín de melina madurado fueron los que mantuvieron mayor capacidad de retención de agua en una mezcla al ser añadidos en la misma.

Propiedades químicas

Los resultados del análisis químico para las mezclas de materias primas se presentan en el Cuadro 7 y el pH en la Figura 1.

Se realizó la solarización del material en bolsas individuales, como alternativa no química de desinfestación de sustratos; la caracterización química evaluó el efecto de la desinfestación en la modificación de las propiedades químicas. Se encontró que la solarización produjo un cambio en el pH, donde se pasó de valores entre seis y siete en las materias primas, a valores extremos en las mezclas (Figura 1). Así, la materia prima aserrín de melina madurado, con un pH de 6,5, tuvo en sus mezclas 9, 10 y 12, valores de pH mayores a ocho. Ningún sustrato mostró valores de pH próximo a seis y algunos pocos se aproximaron a las cinco o seis unidades de pH.

Cuadro 6. Porosidad total, capacidad de retención de agua y densidad de masa de las diferentes mezclas de materias primas para la elaboración de sustratos hortícolas. Alajuela, Costa Rica. 2004^{1/}.

Sustrato	Proporción (%)	Porosidad total (%)	Capacidad de retención de agua	Densidad de masa (g/ml) (%)
Fibra de coco + suelo	60:40	75,66	62,10	0,38
Fibra de coco + suelo	40:60	69,87	59,60	0,50
Fibra de coco + suelo + lombricompost cabra	60:20:20	79,84	69,29	0,32
Fibra de coco + A.O. Juan Viñas ²	50:50	84,00	71,12	0,26
Fibra de coco + A.O. Juan Viñas	40:60	73,99	63,48	0,24
Fibra de coco + aserrín melina madurado + ceniza bagazo	40:50:10	75,92	66,60	0,10
A.O. Juan Viñas + aserrín melina madurado	70:30	81,26	69,17	0,34
A.O. Juan Viñas + aserrín melina madurado	40:60	84,98	69,40	0,21
A.O. Juan Viñas + aserrín melina madurado + granza	40:40:20	85,13	59,81	0,19
A.O. Juan Viñas + lombricompost broza + granza	40:40:20	82,88	49,36	0,30
Bagazo + aserrín melina madurado + A.O. Juan Viñas	40:40:20	90,03	57,96	0,14
Bagazo + aserrín melina madurado + A.O. Juan Viñas	50:30:20	91,27	49,03	0,13
Bagazo + fibra de coco + piedra pómez	60:30:10	79,56	55,43	0,12
Bagazo + fibra de coco + piedra pómez	40:40:20	79,09	58,15	0,17
Bagazo + lombricompost broza	60:40	76,63	41,45	0,20
Ceniza bagazo + bagazo	50:50	71,76	65,36	0,17
Ceniza bagazo+ bagazo	30:70	80,29	50,44	0,10
Ceniza bagazo+ lombricompost broza + piedra pómez	40:40:20	65,77	61,80	0,32
Suelo + aserrín melina madurado + granza	40:40:20	79,81	55,34	0,37
Suelo + arena + granza	50:30:20	73,97	53,99	0,68
Suelo + granza	70:30	77,27	56,45	0,54
A.O. Juan Viñas + granza	70:30	79,32	55,26	0,28

^{1/} promedio de seis repeticiones.^{2/} Abono orgánico Juan Viñas

Con base en los resultados de pH se establecieron dos categorías:

- 1) mezclas de pH ácido (con valores no mayores a 4,7) en donde destacó la presencia de la fibra de coco y el suelo en las mezclas; ambos pese a su buen pH individual, 6,35 y 6,0 respectivamente (Cuadro 4 y 5).
- 2) mezclas de pH alcalino (con valores superiores de 7,8); en este caso predomina la presencia del aserrín de melina madurado. Gariglio *et al.* (2001), informa que el aserrín de *Salix* sp. en mezcla con otros componentes mostró problemas

de alcalinidad. La ceniza del bagazo y el lombricompost de broza también resultan en mezclas con pH superiores a ocho.

La solarización posiblemente activó ciertos procesos y reacciones bioquímicas, por la acción de microorganismos presentes en los sustratos, bajo las condiciones particulares en las que se llevó a cabo: fuerte temperatura y humedad, en una bolsa plástica de volumen pequeño, lo que expone mayormente el medio al tratamiento. Esto alteró la liberación de nutrientes y la concentración de iones H⁺; por ende también modificó el pH del medio.

Cuadro 7. Concentración de nutrimentos, conductividad eléctrica, pH y RAS de mezclas y materias primas solarizadas para la elaboración de sustratos hortícolas. Alajuela, Costa Rica. 2004.

Código de sustrato*	mg/l								mg/l				Cond. elect.		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Ca	Mg	K	P	Fe	Zn	Cu	Mn	Na	Cl	mS/cm	pH	RAS
1	0,16	58,15	31,50	14,00	67,50	0,48	1,05	trazas	0,02	0,02	46,50	51,39	0,65	3,49	2,04
2	0,03	104,69	60,00	21,50	67,00	0,08	0,06	0,08	0,11	0,03	47,00	41,31	1,30	2,58	1,15
3	0,10	305,00	131,50	130,00	890	75,55	0,47	0,09	0,30	0,04	260,00	331,39	2,89	4,62	1,99
4	0,11	177,72	289,50	76,00	240,50	3,69	0,15	0,04	0,15	0,02	37,00	98,42	1,57	3,96	0,20
5	0,05	178,22	290,00	73,50	242,50	3,37	0,07	0,04	0,13	0,01	28,50	99,95	1,75	3,81	0,16
6	0,10	54,46	18,50	7,50	114,50	33,60	1,09	0,11	0,17	0,03	23,50	65,05	0,47	4,40	1,81
7	0,06	121,37	395,00	82,00	221,50	1,72	0,09	trazas	0,07	trazas	11,50	102,17	1,71	8,09	0,05
8	trazas	2,82	178,50	36,00	149,00	2,96	0,38	trazas	0,04	trazas	12,50	66,21	0,86	8,47	0,12
9	0,27	2,47	167,50	33,50	149,00	3,94	0,29	trazas	0,04	trazas	12,00	65,23	0,91	8,17	0,12
10	0,37	138,81	142,00	40,00	1140	16,49	1,24	trazas	0,09	0,02	12,00	211,69	2,52	8,29	0,13
11	2,57	1,45	120,50	24,00	131,00	1,81	0,52	trazas	0,06	trazas	10,50	52,75	0,76	8,17	0,15
12	1,15	1,06	128,00	24,50	133,50	3,29	0,25	trazas	0,06	trazas	9,00	trazas	0,73	7,89	0,12
13	0,68	0,19	9,50	4,00	61,50	2,92	1,86	0,01	0,11	trazas	17,00	51,86	0,41	4,28	2,52
14	0,47	0,34	8,50	4,00	54,50	2,55	5,87	trazas	0,10	trazas	23,50	59,09	0,29	4,44	3,76
15	7,91	0,48	49,00	14,50	1150	64,00	2,08	0,05	0,11	24,50	13,00	232,18	2,04	8,91	0,41
16	0,34	0,28	16,50	20,50	388	28,58	0,24	trazas	0,02	trazas	20,00	39,57	1,04	8,40	1,08
17	0,49	0,44	15,50	12,50	249,50	28,42	0,69	trazas	0,05	0,06	19,00	43,36	0,73	8,46	1,36
18	0,40	55,86	34,50	18,00	1250	46,38	0,43	trazas	0,03	0,02	26,50	181,30	2,41	8,80	1,01
19	0,96	0,11	20,00	4,50	33,50	2,04	17,26	trazas	0,11	0,09	22,50	55,97	0,28	5,71	1,84
20	0,31	128,39	128,50	30,00	39,50	0,25	0,04	trazas	0,02	trazas	39,50	27,94	1,14	2,94	0,50
21	0,21	100,36	78,50	21,00	52,00	0,18	0,11	trazas	0,01	trazas	34,00	32,76	1,01	3,04	0,68
22	0,23	266,24	690,00	102,00	261,50	2,12	0,08	trazas	0,06	trazas	14,00	102,63	2,46	5,10	0,04
23	0,15	152,73	525,00	91,50	236,00	2,04	0,02	trazas	0,08	trazas	14,50	102,5	2,06	7,84	0,05
24	60,10	57,22	89,50	126,00	690,00	1,99	1,22	trazas	0,32	2,00	79,50	652,8	2,66	5,26	0,74
25	1,50	1,56	12,50	6,50	71,50	4,79	1,08	0,04	0,10	0,04	32,50	67,37	0,40	3,77	3,42
26	0,46	8,31	12,50	9,00	53,50	18,00	0,62	0,32	0,08	0,01	28,00	36,16	0,35	3,82	2,60
27	35,42	27,13	320,00	9,00	316,50	0,32	0,38	0,04	0,18	2,42	49,00	319,6	2,12	4,84	0,30

* sustratos 1 a 22 consultar Cuadro 2.

* sustratos 23 a 27 son materias primas:

23 Abono orgánico Juan Viñas	26 Peat moss + Perlita
24 Tierra fermentada	27 Sustrato comercial 2
25 Fibra de coco	

En el caso del abono orgánico Juan Viñas y el bagazo de caña, se observó una capacidad de amortiguamiento del pH; ambas materias primas individualmente se aproximaron a valores neutros. Su influencia en la determinación del pH de la mezcla fue mínima, ya que en ambos casos predominó el carácter ácido o básico que aporte algún otro componente de la mezcla.

Los resultados mostrados en el Cuadro 7, indican que la conductividad eléctrica no fue un

problema en las mezclas de sustratos, ya que ningún valor alcanzó el límite superior permitido (3,5 mS/cm). No pareciera haber algún efecto en la conductividad eléctrica al mezclar las materias primas puesto que los sustratos elaborados tendieron a mantener una conductividad aproximada a la de su componente mayoritario.

El contenido nutrimental varió entre las mezclas, incluso en aquellas que difieren únicamente en la proporción de sus componentes individuales

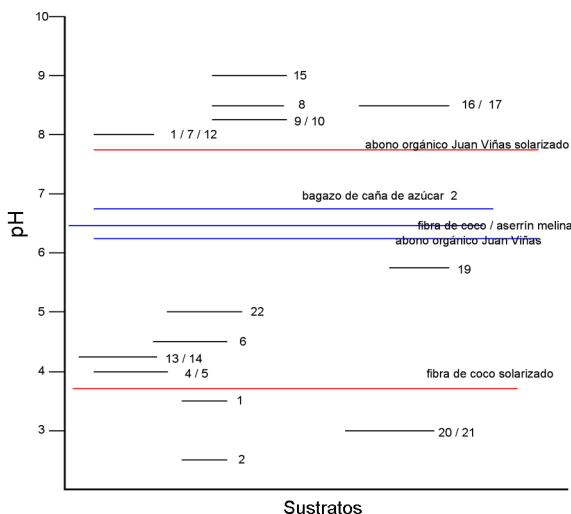


Figura 1. Valores de pH de las mezclas de sustratos hortícolas solarizados. Alajuela, Costa Rica. 2004.

(Cuadro 7). Materiales como la fibra de coco, que tuvo un bajo contenido de N-NO_3^- , al mezclarse presentó un incremento importante en el nivel de este nutrimento. Sin embargo, no ocurrió lo mismo con el bagazo de la caña de azúcar, lo que demuestra que específicamente para nitrógeno, los procesos de nitrificación presentaron un comportamiento diferente en cada mezcla de materias primas.

El contenido de elementos como el Ca, el Mg y el K se incrementó cuando se conforma un sustrato en mezcla. Las reacciones internas y el intercambio de las fases sólidas, líquidas y gaseosas de los sustratos al mezclarse, hacen que estos elementos estén más disponibles en la solución del medio.

CONCLUSIONES

Al hacer la selección de un sustrato deben considerarse primero sus propiedades físicas (porosidad total, retención de agua y densidad de masa) por sobre aspectos químicos y nutricionales.

De las materias primas en estudio, sobresalieron la fibra de coco por su buena capacidad de retención de agua, y la granza de arroz, el aserrín de melina madurado, y el *peat moss* + perlita, por su alto porcentaje de porosidad total. A su vez, por el aporte nutricional, entre las materias primas se seleccionaron los siguientes materiales: abono orgánico Juan Viñas, suelo, lombricompost de broza y lombricompost de cabra. El suelo fermentado presenta un buen pH, mientras que el bagazo de caña de azúcar, la ceniza de bagazo, el sustrato comercial 2, la piedra pómez y la arena, mostraron valores apropiados de conductividad eléctrica.

Debido a la importancia de utilizar un sustrato de origen local que en el corto plazo sustituya al *peat moss*, se debe contar con un material que sea estable, de manera que no sufra desbalances químicos ni se alteren sus propiedades físicas a través del tiempo. Esta estabilidad debe continuarse investigando en materias primas potenciales como el bagazo de caña y aserrín de melina. Además debe mejorarse el procesamiento e industrialización (molienda) de ciertos materiales, en especial de la fibra de coco y el bagazo de caña.

De los sustratos en mezcla elaborados, sobresalieron el abono orgánico Juan Viñas + granza, suelo + aserrín melina madurado + granza, bagazo + aserrín melina madurado + abono orgánico Juan Viñas y abono orgánico Juan Viñas + lombricompost de broza + granza. Estas mezclas presentaron un potencial como sustratos para la elaboración de almácigos.

LITERATURA CITADA

- ALARCÓN, A. 2004. Introducción a los cultivos sin suelo. In: Curso de fertiriego: manejo en suelos y sustratos agrícolas. San José, Costa Rica. 23 p.
- BASTIDA, A. 2004. Los sustratos. In: III Curso Internacional de Invernaderos. Universidad Autónoma Chapingo. Guadalajara, Jalisco. México. 41 p.

- BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- CABRERA, R. 1995 a. Fundamentals of container media management, part 1: Physical properties. Rutgers Cooperative Extension. New Jersey Agricultural Experiment Station. The State University of New Jersey. USA. 4 p.
- CABRERA, R. 1995 b. Fundamentals of container media management, part 2: Measuring physical properties. Rutgers Cooperative Extension. New Jersey Agricultural Experiment Station. The State University of New Jersey. 2 p.
- CORNELL COOPERATIVE EXTENSION. 1997. Something to grow on. Department of Floriculture and Ornamental Horticulture. Cornell University. Consultado oct. 2002. Disponible en: www.cals.cornell.edu/dept/flori/growon/media.html
- FONTENO, W. 1996. Sustratos: tipos y propiedades físicas y químicas. In: Reed, D. ed. Guía del productor: Agua, sustratos y nutrición en los cultivos de flores bajo invernadero. Ball Publishing – Horti-Tecnia Ltda. Colombia. p. 93-123.
- GARIGLIO, N. F.; ALSINA, D. A.; NESCIER, I.; CASTELLARO, F. J. 2001. Corrección del pH en sustratos a base de serrín de Salicáceas. Invest. Agr. Prod. Veg. 16(2): 203-211.
- GUZMÁN, J. M. 2003. Sustratos y tecnología de almácigo. In: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. UCR-CYTED. San José, Costa Rica. sp.
- KIPP, J.; WEVER, G. 2000. Mezclas para nutrir y ayudar a crecer a las plantas: sustratos y turbas. Horticultura: la industria del invernadero. Ediciones de horticultura S.L. España. p. 112-117.
- LESKOVAR, D. I. 2001. Producción y ecofisiología del trasplante hortícola. Curso dado en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Consultado 22 dic. 2004. Disponible en: www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort01/Curso.pdf
- MOLINA, E. 1999. Análisis químico de medios de crecimiento vegetal. Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Material mimeografiado. 2 p.
- NELSON, P. V. 1991. Greenhouse operation and management. 4 ed. Prentice-Hall. Estados Unidos de América. 612 p.
- OROZCO, R.; MARFÀ, O. 1995. Granulometric alteration, air-entry potential and hydraulic conductivity in perlites used in soilless cultures. Acta Horticulturae. Soilless Cultivation Technology for Protected Crops 408: 147-161.
- SCHNELLE, M. A.; HENDERSON, J.C. 1991. Containers and media for the nursery. Oklahoma Cooperative Extension Service. Extension Facts. Oklahoma State University. 4 p.
- WARNCKE, D. D.; KRAUSKOPF, D. M. 1983. Greenhouse growth media: testing & nutrition guidelines. Cooperative Extension Service. Extension Bulletin E-1736. Michigan State University. 6 p.